

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 07 JUL 2004

WIPO

PCT

*EP04/06264*

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:**

103 26 427.2

**Anmeldetag:**

10. Juni 2003

**Anmelder/Inhaber:**

Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozessen

**IPC:**

G 05 B, D 21 F

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 28. Mai 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

*[Handwritten Signature]*

Schmidt C.

## Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozessen

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozessen, insbesondere kontinuierlichen Prozessen mit durchlaufenden Warenbahnen wie z.B. Papier, Textilien, Kunststoff- oder Metallfolien.

10

Industrielle Prozesse, insbesondere Prozesse mit durchlaufenden Warenbahnen, z.B. Prozesse zur Herstellung von Papier, Textilien, Kunststoff- oder Metallfolien, sind häufig sehr komplexe Kombinationen aus Antriebs- und Automatisierungsprozessen. Aufgrund dieser Tatsache sind Störungen sehr schwer zu erfassen und zu bewerten, u.a. deshalb, weil sie sich in der Regel an verschiedenen Stellen in einer Anlage bemerkbar machen. Aus diesem Grund lässt sich, insbesondere bei komplexen Prozessen, keine eindeutige Wirkungskette zwischen einer Ursache und einer Folge einer Störung erkennen.

15

20

Insbesondere sporadische Störungen können einen Prozess empfindlich behindern und z.B. bei einem Herstellungsprozess die Herstellungskapazität begrenzen und zu beträchtlichen Kosten führen. Solche Störungen können als Ergebnis einer Vielzahl von Faktoren technischer oder technologischer Art entstehen, die zwar nicht groß genug sind, um eine Unterbrechung der Fertigung zu bewirken, aber zu Qualitäts- oder Durchlaufproblemen führen können.

30

Im Extremfall können Störungen aber auch zu einer Unterbrechung des Prozesses führen. So kann z.B. bei einem Herstellungsprozess für eine Warenbahn ein Riss der Warenbahn („Bahnriß“) zu einer Unterbrechung der Fertigung mit entsprechend hohen Ausfallkosten führen.

35

Ein herkömmlicher Ansatz zur Lösung des Problems besteht für einen Prozess- bzw. Anlagenbetreiber darin, Experten für die einzelnen Teilsysteme (z.B. Automatisierungssystem, Antriebssysteme) zu bestellen, die dann z.B. mit Hilfe visueller Verfahren (z.B. mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitskameras) versuchen, die Ursache der Störungen zu ermitteln. Diese Methode erfasst jedoch insbesondere bei komplexen Anlagen wesentliche Bereiche der Anlage, insbesondere das Antriebssystem, nur unvollständig, ist deshalb in ihrer Aussage begrenzt und führt insgesamt zu keiner nachhaltigen Beseitigung der Störungen.

Weiterhin wird in der noch unveröffentlichten deutschen Patentanmeldung mit amtlichen Anmeldeaktenzeichen DE 10202092.2 sowie in der noch unveröffentlichten Internationalen Patentanmeldung mit amtlichen Aktenzeichen PCT/DE/03/00093 ein einheitliches und modular erweiterbares System zum weitestgehend rückwirkungsfreien und zeitsynchronen Messen und Analysieren von weit verteilten Signalen von aus mehreren Teilprozessen bestehenden industriellen Prozessen beschrieben. Mittels Messköpfen werden beliebige in den Teilprozessen vorliegende Signale erfasst und gegebenenfalls mit einem Zeitstempel versehen in einer vorgegebenen Form als Mess- oder Zeitsignale an ein Messbussystem weitergegeben, wobei das Messbussystem nicht identisch mit vorhandenen, der Automatisierung dienenden Bussystemen ist. Die Mess- und/oder Zeitsignale werden von Datenkonzentratoren weiterverarbeitet. Lokale oder vom industriellen Prozess beliebig entfernt vorgesehene Auswerteeinheiten und/oder Anzeigeeinheiten ermöglichen die weitere Verarbeitung beziehungsweise Visualisierung von Mess- und/oder Zeitsignalen. Es sind Messköpfe vorgesehen, die ein standardisiertes Zeitsignal wie das des Global Positioning Systems (GPS) erfassen können.

Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es Aufgabe vorliegender Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozes-

sen anzugeben, die auch bei hoher Komplexität des Prozesses eine schnelle, wiederholbare und kostengünstige Ermittlung der Ursachen von Störungen erlauben und eine nachhaltige Störungsbeseitigung ermöglichen.

5

Die Lösung der auf das Verfahren gerichteten Aufgabe gelingt erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens sind jeweils Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 13. Die Lösung der auf die Vorrichtung gerichteten Aufgabe gelingt erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung gemäß Patentanspruch 14.

10

Mit Hilfe zeitlicher und/oder örtlicher Korrelationen lässt sich auf einfache und schnelle Weise erkennen, ob ein Wirkungszusammenhang zwischen einer Messgröße und Zeit und/oder Ort einer Störung besteht. Die Zeit und/oder Ort der Störung können hierbei ebenfalls durch eine Messgröße identifizierbar sein. Als Messgrößen werden im Rahmen der Erfindung Messsignale im Sinne der vorerwähnten, nicht vorveröffentlichten Patentanmeldungen DE 10202092.2 bzw. PCT/DE/03/00093 verstanden, d.h. Signale, die aus verschiedensten Quellen des Prozesses stammen und in beliebiger auch unterschiedlicher Form, z.B. analog, binär, numerisch und/oder als veränderliche physikalische Größe vorliegen können. Diese Signale können mit Hilfe bereits in dem Prozess vorhandener und/oder zusätzlich vorzusehender Signalgeber erfasst werden.

15

20

Unter zeitlicher Korrelation wird im Rahmen der Erfindung verstanden, dass zwei Messgrößen zu einem bestimmten Zeitpunkt ein ähnliches Verhalten aufweisen. Eine Ursachenbestimmung auf Basis zeitlicher Korrelationen ist insbesondere dann möglich, wenn es sich um technische Störungen, z.B. Instabilitäten oder zu kleine Dämpfungsfaktoren in einem Antriebssystem, handelt oder wenn Ursache und Wirkung räumlich nicht zu weit auseinander liegen.

30

35

Die örtliche Korrelation bezieht sich darauf, dass ein Prozess durchlaufendes Prozessgut (z.B. eine durchlaufende Warenbahn) und die mit diesem verbundenen Eigenschaften (z.B. Qualität, Größe, Gewicht) durch den Prozess mit einer bestimmten Geschwindigkeit laufen und sich somit an örtlich unterschiedlichen Punkten einer Anlage oder Maschine zu unterschiedlichen Zeitpunkten befinden. Mit Hilfe einer Information über die relativen Positionen der Messpunkte zueinander und die Geschwindigkeit des Prozessgutes in dem Prozess kann für jeden Messpunkt eine Zeitversatz bestimmt werden, mit dem der Messpunkt das durch den Prozess laufende Prozessgut sieht. Die Messgrößen sind somit vor allem durch das Prozessgut und seine Eigenschaften miteinander korreliert. Mit Hilfe örtliche Korrelationen lassen sich somit insbesondere Störungsursachen technologischer Natur, z.B. bei einem Papierherstellungsprozeß Qualitätsprobleme in der Grammatur, Löcher und ähnliches feststellen.

Die Erfassung der Messgrößen und die Bestimmung der zeitlichen und örtlichen Korrelationen kann mit Hilfe geeigneter Vorrichtungen zur Datenverarbeitung automatisiert werden und somit eine schnelle, wiederholbare und kostengünstige Ermittlung der Störungsursachen ermöglichen. Mit Hilfe der zeitlichen und/oder örtlichen Korrelationen lassen sich sehr exakt Wirkungszusammenhänge zwischen den Messgrößen und der Zeit und/oder dem Ort der Störung ermitteln, so dass die Ursachen der Störungen mit hoher Genauigkeit erkannt werden können und somit eine nachhaltige Störungsbeseitigung möglich wird.

Es können hierbei zuerst die zeitlichen Korrelationen der Messgrößen mit der Zeit der Störung bestimmt werden. Falls hierbei keine Korrelationen festgestellt werden, kann anschließend eine Bestimmung der örtlichen Korrelationen erfolgen. Alternativ können aber auch zuerst die örtlichen Korrelationen bestimmt werden und, falls hierbei keine Korrelation festgestellt wird, anschließend die Bestimmung der zeitlichen Korrelationen erfolgen.

Von den Messgrößen (bzw. die von diesen repräsentierten technischen Einheiten des Prozesses) können diejenigen als Ursache ausgeschlossen werden, die keine signifikante Korrelation mit der Störung aufweisen.

Eine besonders genaue Ursachenbestimmung ist dann möglich, wenn zusätzlich von den Messgrößen diejenigen als Ursache ausgeschlossen werden, bei denen die festgestellte Korrelation eine Folgewirkung im Gegensatz zu einer Ursache der Störung ist.

Zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit der Ursachenbestimmung können für die Teilprozesse, die durch Messgrößen mit signifikanten Korrelationen mit der Störung repräsentiert werden, detaillierte Analysen durchgeführt werden. Dies kann u.a. weitere Messungen mit zusätzlichen/anderen Messgrößen erforderlich machen.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass nach Feststellung der Ursache der Störung Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache erarbeitet werden. Diese Maßnahmen können abschließend technisch und/oder betriebswirtschaftlich bewertet werden. Anhand dieser Bewertung kann der Entscheidungsprozess für die Implementierung von Verbesserungsmaßnahmen vereinfacht und eine unter Kosten/Nutzen-Gesichtspunkten optimale Lösung für den Betreiber des industriellen Prozesses getroffen werden.

Der Aufwand für die Analyse der Messgrößen kann dadurch verringert werden, dass nur die für die Störung relevanten Messgrößen erfasst werden.

Die Relevanz einer Messgröße für die Störung kann hierbei dadurch ermittelt werden, dass die durch die Messgröße repräsentierte Prozeßkomponente von dem industriellen Prozeß getrennt und durch eine äquivalente Kraft oder einen äquivalen-

ten physikalischen Effekt ersetzt wird. Dies kann z.B. mit Hilfe des aus der Mechanik bekannten Prinzips des „Freischneidens“ erfolgen.

5 Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich besonders einfach mit einer Vorrichtung zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozessen durchführen, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie eine Erfassungseinheit zum Erfassen von Messgrößen sowie Zeit und/oder Ort einer Störung, eine Auswerteeinheit zur Bestimmung von Korrelationen zwischen den erfassten Messgrößen und der Zeit und/oder dem Ort der Störung und einer Ausgabeeinheit zur Ausgabe der mit der Zeit und/oder dem Ort der Störung korrelierenden Messgrößen aufweist.

15 Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird das Verfahren als Servicedienstleistung durch einen Dienstleistungsanbieter durchgeführt.

20 Die Erfindung sowie weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gemäß den Merkmalen der Unteransprüche werden im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen in den Figuren näher erläutert. Darin zeigen:

FIG 1 eine schematische Darstellung eines in den Patentanmeldungen DE 10202092.2 bzw. PCT/DE/03/00093 beschriebenen Mess- und Analysesystems

30 FIG 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in einem Papierherstellungsprozeß

35 FIG 3 eine Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens für die Ermittlung der Ursachen von Störungen in einer Anlage gemäß FIG 2 anhand eines Ablaufdiagramms

FIG 4 eine Darstellung zur Erläuterung des Verfahrens zur Bestimmung der Relevanz einer Messgröße für eine Störung

5

FIG 5 ein Diagramm zur Veranschaulichung einer zeitlichen Korrelation zwischen zwei Prozessgrößen

10

FIG 6 ein Diagramm zur Veranschaulichung einer örtlichen Korrelation zwischen Prozessgrößen.

15

Anhand des in FIG 1 dargestellten, in den nicht vorveröffentlichten Patentanmeldungen DE 10202092.2 bzw. PCT/DE/03/00093 beschriebenen, Mess- und Analysesystems wird zunächst allgemein und dann konkret eine vorteilhafte Gewinnung der Messgrößen beschrieben. Die Messgrößen entsprechen hierbei den im folgenden beschriebenen Messsignalen.

20

Die Erfassung und Verarbeitung von Signalen von industriellen Prozessen bilden die Grundlage für zentrale Echtzeitauswertung und die Unterstützung von Analyse- und Diagnosefunktionalitäten sowohl vor Ort als auch räumlich getrennt vom betroffenen Prozess. Letzteres ist insbesondere für Dienstleistungen des Anlagenherstellers wie zum Beispiel Fernwartung und Ferndiagnose von Bedeutung.

30

Die betroffenen Prozesse liegen in industriellen Anlagen vor, die in der Regel aus mehreren zumeist räumlich verteilten Anlagenbestandteilen bestehen. Die betroffenen Prozesse werden mit mindestens einer Automatisierungsvorrichtung gesteuert und/oder geregelt. Die zu erfassenden und zu verarbeitenden Signale können aus den verschiedensten Quellen stammen und in beliebiger auch unterschiedlicher Form, z.B. analog, binär, numerisch, als Videosignale und/oder als veränderliche physikalische Größen vorliegen.

35



Ein geeignetes Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens zum Erfassen und Verarbeiten von Signalen muss Signale aus einer großen Anzahl von Quellen aufnehmen, wobei die räumliche Verteilung der Quellen sehr  
5 weit ausgedehnt sein kann. Ein geeignetes Verfahren muss Messsignale bei gleichbleibend hoher Qualität genau erfassen und dabei auch hohe Abtastraten unterstützen können. Von einer entsprechenden Vorrichtung erwartet man eine einfache und schnelle Inbetriebnahme bei niedrigem Verdrahtungs- und Kon-  
10 figurationsaufwand sowie eine einfache Bedienbarkeit, vergleichbar mit dem „Plug and Play“ Prinzip.

Vor allem dann, wenn die einzelnen Teilprozesse eines industriellen Prozesses räumlich weit verteilt vorliegen, sind  
15 Verfahren beziehungsweise Vorrichtungen zum Erfassen und Verarbeiten von Signalen von industriellen Prozessen bekannt, die durch einzelne, unterschiedliche Teilverfahren und Vorrichtungen mit jeweils verschiedenen Leistungsspektren und Charakteristiken oder durch Integration in bestehende Steuer-  
20 systeme oder beides realisiert werden. Es ist kein Gesamtsystem bekannt, das aus einer einheitlichen und modular aufgebauten Vorrichtung besteht, das den zuvor angeführten Anforderungen genügt und das darüber hinaus die zeitsynchrone und weitestgehend rückwirkungsfreie Signalerfassung der in der Anlage vorliegenden Signale ermöglicht. Ebenso wenig sind  
Verfahren zum Erfassen und Verarbeiten von Signalen von industriellen Prozessen in vorzugsweise räumlich weit verteilten, industriellen Anlagen bekannt, die allen vorangehend ge-  
30 nannten Anforderungen genügen und darüber hinaus sowohl einfach und universell einsetzbar sind als auch präzise, weitestgehend rückwirkungsfreie und zeitsynchrone Signalerfassung gewährleisten.

Ein die aufgezeigten Anforderungen erfüllendes und die ge-  
35 nannten Nachteile vermeidendes Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung sind einheitlich und modular aufgebaut. Das zugrunde liegende Konzept ist die Trennung von Messen und

Analysieren einerseits und Steuern und Regeln andererseits. Vor allem die Umsetzung dieses Konzepts ermöglicht die weitestgehend rückwirkungsfreie Signalerfassung und die Realisierung eines vielfältig einsetzbaren, leistungsstarken, modular und kostengünstig erweiterbaren, einheitlichen Systems der eingangs genannten Art.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens empfängt mindestens ein Messkopf eingangsseitig Messsignale von einem beliebigen Bussystem. Dadurch wird die weitestgehend rückwirkungsfreie Aufnahme der über das Bussystem ausgetauschten Signale und / oder die Analyse von Signalstörungen am Bussystem selbst ermöglicht.

Vorteilhaft kann das Verfahren so ausgestaltet werden, dass mindestens ein Messkopf ausgangsseitig Messsignale unmittelbar an einen Datenkonzentrator weitergibt, wodurch die Modularität des Systems weiter gesteigert wird.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens werden die Messköpfe und / oder Datenkonzentratoren automatisch erkannt. Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung erfolgt der Aufbau der Kommunikation zwischen Datenkonzentratoren und Messköpfen automatisch unter Zuhilfenahme von mindestens einer Kommunikationseinheit. Beide Ausgestaltungen erhöhen in entscheidender Weise die Modularität des Verfahrens, das auf diese Weise sehr einfach und mit geringen Kosten und Aufwand verbunden erweitert werden kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden Zeitsignale dadurch generiert, dass Messsignale mit einem Zeitstempel versehen werden. Dadurch wird eine Auswertung der erfassten Messsignale erheblich erleichtert und zwar insbesondere im Hinblick auf komplexe, sich über mehrere Teilprozesse erstreckende Zusammenhänge.

Mit Vorteil wird das Verfahren so erweitert, dass mindestens ein Messkopf ein standardisiertes Zeitsignal empfängt. Die Nutzung dieses Zeitsignals als Referenzzeit ermöglicht eine eindeutige und genaue zeitliche Zuordnung von Messsignalen über die Grenzen des industriellen Prozesses hinaus, auf den sich das vorteilhafte Verfahren bezieht.

In weiterer Ausgestaltung wird das standardisierte Zeitsignal von einem Global Positioning System (GPS) erfasst. Der Vorteil dieser Ausgestaltung liegt in der weltweiten Verfügbarkeit von GPS und in den geringen Kosten, die mit der Erfassung dieses standardisierten Zeitsignals verbunden sind.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens werden die aus mindestens einem Datenkonzentrator stammenden Zeit- und / oder Messsignale mithilfe von mindestens einer programmierbaren Auswerteeinheit verarbeitet, wobei sich die programmierbare Auswerteeinheit räumlich beliebig entfernt von den Teilprozessen befinden kann. So erhöht sich die Flexibilität und die universelle Einsetzbarkeit des Verfahrens. Eine besonders wirtschaftliche Ressourcenausnutzung wird durch die für die Datenkonzentratoren und Auswerteeinheiten vorgesehene konzeptionelle Aufgabentrennung erreicht.

Vorzugsweise kann das Verfahren so ausgestaltet werden, dass mindestens eine Anzeigeeinheit zur Visualisierung von aus den Messsignalen und / oder Zeitsignalen generierten Daten verwendet wird, wobei sich die Anzeigeeinheit räumlich beliebig entfernt von den Teilprozessen befinden kann. Eine derartige Erweiterung erhöht Modularität und Flexibilität des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei die räumliche Unabhängigkeit der Anzeigeeinheit von den industriellen Teilprozessen zudem Funktionalitäten wie die Fernanalyse ermöglicht und dadurch sowohl die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der intellektuellen Auswertung von Messergebnissen erhöht als auch das Heranziehen von Expertenwissen zur Auswertung wesentlich erleichtert.

Das Verfahren lässt sich mit einer Vorrichtung zum Erfassen und Verarbeiten von Signalen von industriellen Prozessen durchführen, die aus mindestens einem Teilprozess bestehen, wobei der industrielle Prozess von mindestens einer mit einem oder mehreren Bussystemen ausgestatteten Automatisierungsvorrichtung gesteuert und / oder geregelt wird.

Die vorteilhafte Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Messbussystem vorgesehen ist, das nicht identisch mit dem oder den Bussystemen der Automatisierungsvorrichtung ist, sowie dass mindestens ein Messkopf zur Erfassung von Messsignalen vorgesehen ist, der eingangsseitig mit vorhandenen und / oder zusätzlich vorzusehenden Signalgebern des industriellen Prozesses verbunden ist und ausgangsseitig Signale in einer vorgegebenen Form an das Messbussystem weitergibt, und dass ein oder mehrere Datenkonzentratoren mit dem Messbussystem verbunden sind.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Vorrichtung ist mindestens ein Messkopf, der mit einem Signalgeber verbunden ist, der ein standardisiertes Zeitsignal liefert, am oberen Abschluss einer Einrichtung angebracht, innerhalb derer oder mit deren Hilfe der industrielle Prozess durchgeführt wird. Diese Anbringung ermöglicht einen verbesserten Empfang des standardisierten Zeitsignals, sofern dieses drahtlos und insbesondere mithilfe von nicht ausschließlich erdgebundenen Übermittlungseinrichtungen wie zum Beispiel Satelliten übermittelt wird.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Vorrichtung sind die Datenkonzentratoren derart erweiterbar beschaffen, dass die jeweils benötigte Zahl von Messbussystemen und / oder Messköpfen mit ihnen verbunden werden kann. So wird das unkomplizierte Einbinden von Messbussystemen und / oder Messköpfen Zeit und Kosten sparend möglich. Das System wird auf diese Weise beliebig und einfach erweiterbar.

Fig. 1 stellt ein Mess- und Analysesystem für einen industriellen Prozess schematisch dar. Im gezeigten Beispiel ist der Prozess in zwei Teilprozesse T1 und T2 aufgegliedert. Innerhalb dieser Teilprozesse T1 und T2 sollen Signale erfasst und verarbeitet werden.

An den Anlagenbestandteilen X1 bis X3 und Y1 bis Y3 befinden sich nicht näher dargestellte Signalgeber S1 bis S6, die mit entsprechenden Messköpfen M1 bis M6 verbunden sind. Bei den in der Zeichnung beispielhaft dargestellten Anlagenbestandteilen handelt es sich um die Motoren X1 bis X4 und die Schaltschränke Y1 bis Y4.

Es existieren die Bussysteme P1 und P2 und weitere nicht näher dargestellte Bussysteme, die der Automatisierungseinrichtung der industriellen Teilprozesse T1 und T2 zuzuordnen sind. Die Bussysteme P1 und P2 werden zum Steuern und Regeln der Anlagenkomponenten X1 und Y2 beziehungsweise X4 und Y4 genutzt. Wie beispielhaft am Bussystem P2 und dem Messkopf M7 gezeigt wird, können Messköpfe auch mit Bussystemen, die zum Steuern und Regeln dienen, verbunden werden.

Die Messköpfe M1 bis M7 sind ausgangsseitig mithilfe der Messbussysteme B1 und B2 mit den Datenkonzentratoren D1 und D2 verbunden. Eine Aufgabe der Datenkonzentratoren D1 und D2 ist die Verarbeitung der Zeit- und/oder Messsignale der Messköpfe M1 bis M7.

Zur weiteren Signal- und Datenverarbeitung sind die Auswerteeinheiten E1 und E2 vorgesehen. Die Anzeigeeinheiten A1 und A2 ermöglichen es, von den Datenkonzentratoren D1 und D2 beziehungsweise den Auswerteeinheiten E1 und E2 verarbeitete Messdaten zu visualisieren. Die Auswerteeinheiten E1 und E2, die Anzeigeeinheiten A1 und A2 und die Datenkonzentratoren D1 und D2 sind untereinander über lokale und/oder räumlich unbegrenzte Datenübermittlungsnetze C1 bis C3 verbunden.

Unter Teilprozess kann einerseits ein tatsächlicher Teilprozess innerhalb eines industriellen Prozesses verstanden werden. Andererseits kann ein Teilprozess selbst als industrieller Prozess verstanden werden, sodass zwei oder mehrere Teilprozesse gleichbedeutend sind mit zwei oder mehreren industriellen Prozessen. So könnten beispielsweise ein oder mehrere Teilprozesse dem Fertigungsprozesses eines Automobilherstellers zuordenbar sein, während ein weiterer Teilprozess der industrielle Prozess eines Zulieferers sein könnte.

Einer oder mehrere Teilprozesse T1 bzw. T2, in denen Signale erfasst werden, kann auch nicht industrieller Art sein. Unter einem Teilprozess nicht industrieller Art kann zum Beispiel ein Prozess verstanden werden, der dem privaten oder öffentlichen Gesundheitswesen, staatlichen Behörden oder Einrichtungen, Privatpersonen, gemeinnützigen Einrichtungen oder allgemein Einrichtungen, die nicht als der Industrie zugehörig verstanden werden, zuzuordnen ist.

Teilprozesse T1 bzw. T2 sind so definiert, dass die Möglichkeit besteht, im Rahmen eines oder mehrerer Teilprozesse T1 bzw. T2 auch nicht industrielle Geräte wie z.B. Kernspintomographen mit einem oder mehreren Messbussystem B1 bzw. B2 zu verbinden.

Im Ausführungsbeispiel werden Zeitsignale dadurch generiert, dass Messsignale mit einem synchron laufenden Zeitstempel versehen werden.

Die Messköpfe M1 bis M7 sind so ausgelegt, dass sie numerische, binäre oder analoge Signale von Signalgebern empfangen. Vorgesehen sind aber auch in der Zeichnung nicht dargestellte Messköpfe, die physikalische Messgrößen wie zum Beispiel Schwingungsdauer oder Temperatur erfassen. Messköpfe können mit zum Steuern und Regeln dienenden Bussystemen wie beispielsweise PROFIBUS oder CAN-Bus verbunden werden. Der mit

dem Bussystem P2 verbundene Messkopf M7 erfasst auf dem Bussystem P2 anliegende Daten, die dazu dienen können, Signalstörungen auf dem Bussystem P2 zu analysieren oder weitere Messdaten zur Verfügung zu stellen unter der Voraussetzung, dass dies weitestgehend rückkopplungsfrei und zeitgenau geschieht. Unter dem Begriff zeitgenau wird synchron in der Auflösung der halben minimalen Abtastzeit verstanden.

Alle Messköpfe M1 bis M7 bestehen aus einem einheitlichen bidirektionalen Kommunikationsteil und verfügen über die Funktionalitäten zur selbstständigen Erfassung und Generierung der Messdaten und über Treiber für die Entgegennahme von Daten vom Datenkonzentrator. Die Messbussysteme B1 und B2 benutzen ein einheitliches Übertragungsprotokoll und basieren einheitlich auf Lichtwellenleitertechnologie, um minimalen Verkablungs- und Konfigurationsaufwand und eine hohe Störungsunanfälligkeit zu gewähren.

Es ist möglich jedoch nicht näher dargestellt, dass Messköpfe unmittelbar mit einem Datenkonzentrator D1 bzw. D2 verbunden werden. Die Anordnung aus Datenkonzentrator und gestecktem Messkopf ergibt dann eine Einheit, was gegebenenfalls mit Platz- und Kostenersparnis verbunden ist. Die Datenkonzentratoren D1 und D2 sind bezüglich der Anzahl anzubindender Messbussysteme B1 und B2 bzw. direkt zu steckender Messköpfe erweiterbar konzipiert.

Jeder der Datenkonzentratoren D1 und D2 beinhaltet mindestens eine Recheneinheit und mindestens eine Kommunikationseinheit.

Aufgabe der Kommunikationseinheit ist der eigenständige, automatische Betrieb der Messbussysteme B1 und B2 der Vorrichtung, der Aufbau der Kommunikation mit den angeschlossenen Messköpfen M1 bis M7 über die Messbussysteme B1 und B2, sowie die automatische Erfassung der sich im System befindenden Komponenten und die automatische Kompatibilitätsüberwachung einzelner Komponenten. In jeder Kommunikationseinheit wird eine strukturierte Abspeichermatrix bereitgestellt, in der

für jeden dem Datenkonzentrator zugeordneten Messkopf und jedes zugeordnete Mess- oder Zeitsignal eine eindeutige Adresse vorliegt. Die Kommunikationseinheiten ermöglichen zudem die automatische Synchronisation der Messvorgänge aller Messköpfe und aller im System existierenden Datenkonzentratoren auf eine gemeinsame Zeitbasis. Kommunikationseinheiten verfügen über Mittel zur Selbstdiagnose, Mittel zur Einkopplung von Fremdsignalen und die Funktionalität zur automatischen Lastverteilung zwischen den im System eingesetzten Datenkonzentratoren.

Aufgabe der Recheneinheit ist eine Verarbeitung von Zeit- und Messsignalen. Die Recheneinheit führt eine zeitliche Vektorisierung der eingehenden Daten durch und archiviert die Vektoren auf Festwertspeicher um Datenverluste zu verhindern. Aufgabe der Recheneinheit ist zudem die Berücksichtigung unterschiedlicher Abtastraten, die Glättung der Messsignale und wenn notwendig die Interpolation auf gemeinsame Abtastzeitpunkte.

Die Auswerteeinheiten E1 und E2 verfügen über Funktionalitäten zur weitergehenden Verarbeitung von Mess- und Zeitsignalen aus verschiedenen Datenkonzentratoren D1 und D2. Die Auswerteeinheiten E1 und E2 sind mittels eines graphischen Editors benutzerprogrammierbar und verfügen über eine Bibliothek an Funktionalitäten beispielsweise zur Filterung oder Transformation von Messsignalen oder Signalvektoren.

Mithilfe der Anzeigeeinheiten A1 und A2 können ausgewählte Messdaten in Echtzeit graphisch dargestellt werden. Auf die Auswerteeinheiten E1 und E2 beziehungsweise auf die Anzeigeeinheiten A1 und A2 kann sowohl lokal zugegriffen werden als auch mittels räumlich begrenzter oder unbegrenzter Datenübermittlungsnetze. Die Auswerteeinheiten E1 und E2 unterstützen automatische Überwachung, indem sie bei vorbestimmten Datenkonstellationen Meldungen absetzen um zum Beispiel einen Alarm an mindestens einer der Anzeigeeinheiten A1 und A2 aus-



zulösen. Dies kann zum Beispiel mithilfe einer E-Mail oder aber auch mithilfe einer Kurzmitteilung über ein Mobilfunknetz erfolgen.

- 5 Während die Messbussysteme B1 und B2 einheitlich auf Lichtwellenleitertechnik konzipiert sind, ist dies bei den Datenübermittlungsnetzen C1 bis C3 nicht der Fall. In der Zeichnung stellen die Datenübermittlungsnetze C1 und C3 lokale Netze mit hoher Übertragungsrate und Verwendung der TCP / IP
- 10 Protokollfamilie dar. Das Datenübermittlungsnetz C2 ist räumlich deutlich weiter ausgedehnt und stellt ein digitales Telekommunikationsnetz dar.

- 15 In einem Anwendungsbeispiel stellt der Teilprozess T1 einen Teil des Fertigungsprozesses eines Automobilherstellers, der Teilprozess T2 einen industriellen Prozess im Werk eines Zulieferbetriebes dar. Trotz der dabei in den Teilprozessen T1 und T2 unterschiedlichen Prozessstrukturen und der unterschiedlichen Automatisierungssysteme, kann die System- und
- 20 Problemanalyse mittels des einheitlichen erfindungsgemäßen Systems vorgenommen werden.

- Probleme, die über einzelne Teilprozesse T1 und T2 hinausreichen, können mithilfe der Datenkonzentratoren D1 und D2 sowie den räumlich von den Teilprozessen T1 und T2 entfernt vorgesehenen Auswerteeinheiten E1 und E2 und Anzeigeeinheiten A1 und A2 zuverlässig erkannt und analysiert werden. Dabei wird beispielsweise externen Experten die Problemanalyse und das Verständnis von Zusammenhängen dadurch erleichtert, dass
- 30 Messsignale mit einem auf einer einheitlichen Systemzeit basierenden und gegebenenfalls standardisierten Zeitstempel versehen werden, was über die bloße Synchronisation der Messsignale hinausgeht.

- 35 Die Messbussysteme B1 und B2 und die Messköpfe M1 bis M7 können bei Umbauten innerhalb des industriellen Prozesses den durch den Umbau bedingten neuen Gegebenheiten einfach ange-

passt beziehungsweise dementsprechend erweitert werden. Die Entkopplung der Mess- und Analyseeinrichtungen von vorhandenen Automatisierungseinrichtungen des industriellen Prozesses ermöglicht darüber hinaus nicht nur einen hohen Grad an Rückwirkungsfreiheit bei der Messdatenerfassung, sondern auch eine gleichförmig Messdatenerfassung und -analyse bei Umbauten innerhalb des industriellen Prozesses. So wird ein direkter Vergleich und die Analyse von Prozessmerkmalen vor und nach einem Umbau ermöglicht.

10

Die FIG 2 zeigt eine Anlage 1 zur Herstellung von Papier. Die Anlage 1 umfasst verschiedenste Anlagenteile, die für die verschiedenen Schritte im Herstellungsprozess für Papier benötigt werden, so z.B. eine Stoffaufbereitung, eine Papiermaschine, Umroller, Kalander, Rollenschneider, Querschneider etc. Das Papier durchläuft als Warenbahn 8 wesentliche Teile der Anlage 1. Die Anlage 1 weist für den Antrieb, die Stromversorgung und der Steuerung bzw. Regelung der verschiedenen Komponenten des Herstellungsprozesses eine Vielzahl von Antriebskomponenten 11, Automatisierungskomponenten 12 und Energieversorgungskomponenten 13 auf.

15

20

Eine Vorrichtung 2 dient zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in der Anlage 1. Die Vorrichtung 2 weist eine Erfassungseinheit 3, eine Auswerteeinheit 4 und eine Ausgabeeinheit 5 auf.

Die Erfassungseinheit 3 dient zur Erfassung von Messgrößen P1...P10 des Papierherstellungsprozesses auf der Anlage 1.

30 Dabei kann es sich z.B. um Meßsignale handeln, die mit Hilfe von in der Anlage 1 bereits vorhandenen und/oder vorzusehenden Signalgebern erfasst werden. Zur Erfassung von Abrissen der Warenbahn 8 können z.B. Lichtschranken 9 im Verlauf der Warenbahn 8 vorgesehen sein, die bei einem Bahnriß ein Signal erzeugen, dass als Messgröße PS von der Vorrichtung 2 erfasst wird und es dieser ermöglicht, Zeit und Ort eines Bahn-  
35 risses festzustellen. Weiterhin kann es sich bei den Messgrö-

ßen um Signale von Temperatursensoren in verschiedenen Komponenten der Anlage sowie um Ströme und Spannungen elektrischer Komponenten, Drehzahlen sowie Drehmomente von Antriebskomponenten 13 handeln. Weiterhin können auch Bedienereingaben und  
5 Informationen über die Papierqualität als Messgrößen erfasst werden.

Die Auswerteeinheit 4 dient zur Bestimmung von Korrelationen zwischen den erfassten Messgrößen P1...P10 und der den Zeitpunkt und den Ort der Störung repräsentierenden Messgröße PS.  
10 Die Ausgabeeinheit 5 dient zur Ausgabe der Messgrößen P1 ... P10 mit signifikanter Korrelation mit der Messgröße PS.

Zur Bestimmung der Ursachen der Störungen werden, wie im Ablaufdiagramm der FIG 3 dargestellt, in einem ersten Schritt  
15 31 die für die Störungen relevanten Messgrößen P1... P10 ermittelt. Dies kann z.B. mittels des in FIG 4 näher erläuterten Verfahrens erfolgen.

20 Die relevanten Messgrößen P1... P10 werden anschließend in einem zweiten Schritt 32 von der Erfassungseinheit 3 über einen so langen Zeitraum erfasst, wie für die Erfassung zumindest einer Störung notwendig ist. Die Störung wird hierbei anhand der Messgröße PS, im folgenden als „Störungsmessgröße“ bezeichnet, identifiziert.

Anschließend werden in einem dritten Schritt 33 zuerst zeitliche Korrelationen zwischen den Messgrößen P1 ... P10 und der Störungsmessgröße PS ermittelt. Dies erfolgt, wie in FIG  
30 5 veranschaulicht, durch einen Vergleich, ob eine Messgröße, im Fall der FIG. 5 die Messgröße P8, zum Zeitpunkt TS der Störung ein ähnlich abweichendes Verhalten zeigt wie die Störungsmessgröße PS. Liegt das Verhalten zeitlich etwas früher, so kann die Messgröße P8 vorerst als Ursache für die Störung  
35 angesehen werden. Finden sich allerdings noch Messgrößen, die zeitlich vor der Messgröße P8 bereits abnormales Verhalten

zeigen, so handelt es sich bei der Messgröße P8 nicht um die Ursache, sondern um eine weitere Folge der Störung.

Falls keine zeitlichen Korrelationen festgestellt werden, so werden in einem vierten Schritt 34 örtliche Korrelation der Messgrößen mit der Störungsmeßgröße PS ermittelt. Dies erfolgt z.B. dadurch, dass gemäß FIG 6 mit Hilfe von in der Auswerteeinheit 4 enthaltenen Information über die relativen Positionen der Messpunkte zueinander und die Geschwindigkeit der Warenbahn 8 in dem Prozess für jeden Messpunkt ein Zeitversatz bestimmt wird, mit dem der Messpunkt das durch den Prozess laufende Prozessgut sieht. Im Beispiel der FIG 6 weist die Messgröße P2 einen Offset  $\Delta T2$  und die Messgröße P8 einen Offset  $\Delta T8$  zu der Messgröße PS auf. Finden sich Abweichungen in der Messgröße P2 zu dem Zeitpunkt  $T2 = TS - \Delta T2$  bzw. in der Messgröße P8 zu dem Zeitpunkt  $Z8 = TS + \Delta T8$  vor, so liegt örtliche Korrelation der Messgrößen P2, P8 und PS vor, d.h. die Messgrößen P2, P8 und PS sind über die durchlaufende Warenbahn 8 miteinander korreliert.

Werden signifikante zeitliche Korrelationen zwischen einer oder mehrerer der Messgrößen und der Störungsmessgröße ermittelt, so können die Messgrößen ohne signifikante Korrelation als Ursachen für die Störung ausgeschlossen werden.

Für eine besonders genaue Ursachenbestimmung werden in einem fünften Verfahrensschritt 35 von den Messgrößen diejenigen als Ursache ausgeschlossen, bei denen die festgestellte Korrelation eine Folgewirkung im Gegensatz zu einer Ursache der Störung ist.

In einem sechsten Verfahrensschritt 36 werden zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit der Ursachenbestimmung für die Prozesse, die durch Messgrößen mit signifikanten Korrelationen mit der Störung repräsentiert werden, detaillierte Analysen durchgeführt.

In einem siebten Verfahrensschritt 37 werden nach Feststellung der Ursache der Störung Maßnahmen zur Beseitigung der Störungsursache erarbeitet. Diese Maßnahmen werden abschließend in einem achten Verfahrensschritt 38 technisch und/oder betriebswirtschaftlich bewertet.

Die Relevanz einer Messgröße für eine Störung kann gemäß FIG 4 dadurch auf einfache Weise festgestellt werden, dass die aus der technischen Mechanik bekannte Methode des "Freischneidens" angewandt wird. Hierzu wird eine Anlagenkomponente, d.h. ein bestimmtes Element einer Anlage oder Maschine, in der FIG 4 mit dem Bezugszeichen 6 versehen, von dem System isoliert, dessen Bestandteil es ist. Dies kann dadurch erreicht werden, dass sämtliche Verbindungen 21 bis 25 des Elementes 6 mit den Teilen 41 - 45 des Systems nacheinander gelöst und durch jeweils eine äquivalente Kraft oder einen physikalischen Effekt 51 - 55 ersetzt werden. Diese Kraft oder dieser Effekt kann gemessen werden und beschreibt die Wechselwirkung des Elementes 6 mit den Teilen 41 - 45 des Systems.

Beispiel für die Verbindungen 21 - 25 und Effekte eines bestimmten Elementes können z.B. sein

- Verbindungen zu einem Fundament, das zum einen das Gewicht des Elementes trägt, zum anderen aber auch Vibrationen von anderen Teilen des Systems an das Element überträgt,
- Antriebswellen, Zylinder oder ähnliche bewegliche Teile eines Elements, die mechanische Kräfte auf das Element oder seine Teile ausüben,
- Rohre oder Kabel für hydraulische, pneumatische oder elektrische Verbindungen zwischen dem Element und seiner Umgebung,
- dem Element von anderen Teilen der Maschine zugeführtes Material,
- Bedienhandlungen, die eine Änderung von Einstellungen oder sonstiger Eigenschaften des Elementes bewirken.

All diese äquivalenten Effekte bestimmen das Verhalten eines Elementes bezüglich einer Störung als potentielle Ursache.

5 Die Erfassung der Messgrößen in der Erfassungseinheit 3 kann hierbei in Echtzeit (real-time) erfolgen. Die Auswertung der erfassten Prozessgrößen kann on-line oder off-line erfolgen.

10 Das Verfahren kann besonders vorteilhaft zur Ursachenermittlung genutzt werden, wenn es sich bei den Störungen um sporadische Störungen in einem kontinuierlichen Produktionsprozeß oder um Abrisse von Warenbahnen handelt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozessen, insbesondere kontinuierlichen Prozessen mit durchlaufenden Warenbahnen,  
5     d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     dass  
- Messgrößen (P1 ... P10) sowie die Zeit und/oder der Ort einer Störung erfasst werden  
- Korrelationen zwischen den erfassten Messgrößen und der  
10     Zeit und/oder dem Ort der Störung bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     dass von den  
Messgrößen (P1 ... P10) diejenigen als Ursache ausgeschlossen  
15     werden, die keine signifikante Korrelation mit der Störung aufweisen
3. Verfahren nach Anspruch 1 und/oder 2  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     dass von den  
20     Messgrößen (P1 ... P10) diejenigen als Ursache ausgeschlossen werden, bei denen die festgestellte Korrelation eine Folgewirkung im Gegensatz zu einer Ursache der Störung ist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     dass für die  
Teilprozesse, die durch Messgrößen (P1 ... P10) mit signifikanten Korrelationen mit der Störung repräsentiert werden,  
detaillierte Analysen durchgeführt werden
- 30     5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     dass Maßnahmen zur Beseitigung der Ursachen der Störungen erarbeitet werden
- 35     6. Verfahren nach Anspruch 5  
d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,     dass die Maßnahmen technisch und wirtschaftlich bewertet werden

## 7. Verfahren nach Anspruch 1

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass nur die für die Störung relevanten Messgrößen erfasst werden

5

## 8. Verfahren nach Anspruch 7

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Relevanz einer Messgröße (P1 ... P10) für die Störung dadurch ermittelt wird, dass die durch die Messgröße (P1 ... P10) repräsentierte Prozeßkomponente (6) von dem industriellen Prozeß getrennt und durch eine äquivalente Kraft oder einen äquivalenten physikalischen Effekt ersetzt wird.

10

## 9. Verfahren nach Anspruch 1

15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass zeitliche Korrelationen zur Bestimmung technischer Störungen benutzt werden.

## 10. Verfahren nach Anspruch 1

20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass örtliche Korrelationen zur Bestimmung technologischer Störungen benutzt werden

## 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass es sich bei den Störungen um sporadische Störungen in einem kontinuierlichen Produktionsprozeß handelt.

## 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10

30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass es sich bei den Störungen um Abrisse der Warenbahnen handelt

## 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche

35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass es von einem Dienstleistungsanbieter durchgeführt wird.



14. Vorrichtung (2) zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozessen, insbesondere kontinuierlichen Prozessen mit durchlaufenden Warenbahnen, gekennzeichnet durch

- 5 - eine Erfassungseinheit (3) zum Erfassen von Messgrößen (P1 ... P10) sowie Zeit und/oder Ort einer Störung,
- eine Auswerteeinheit (4) zur Bestimmung von Korrelationen zwischen den erfassten Messgrößen (P1 ... P10) und der Zeit und/oder dem Ort der Störung,
- 10 - einer Ausgabeeinheit (5) zur Ausgabe der mit der Zeit und/oder dem Ort der Störung korrelierenden Messgrößen (P1 ... P10).

## Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozessen

5

Eine auch bei hoher Komplexität eines industriellen Prozesses schnelle, wiederholbare und kostengünstige Ermittlung der Ursachen von Störungen in diesem Prozess ist dadurch möglich, dass Messgrößen (P1 ... P10) sowie die Zeit und/oder der Ort einer Störung erfasst werden und Korrelationen zwischen den erfassten Messgrößen (P1 ... P10) und der Zeit und/oder dem Ort der Störung bestimmt werden. Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ermittlung der Ursachen von Störungen in industriellen Prozessen weist hierzu

10

15

- eine Erfassungseinheit zum Erfassen von Messgrößen (P1 ... P10) sowie Zeit und/oder Ort einer Störung
- eine Auswerteeinheit zur Bestimmung von Korrelationen zwischen den erfassten Messgrößen (P1 ... P10) und der Zeit und/oder dem Ort der Störung und
- eine Ausgabeeinheit zur Ausgabe der mit der Zeit und/oder dem Ort der Störung korrelierenden Messgrößen auf.

20

FIG 2

Fig 1

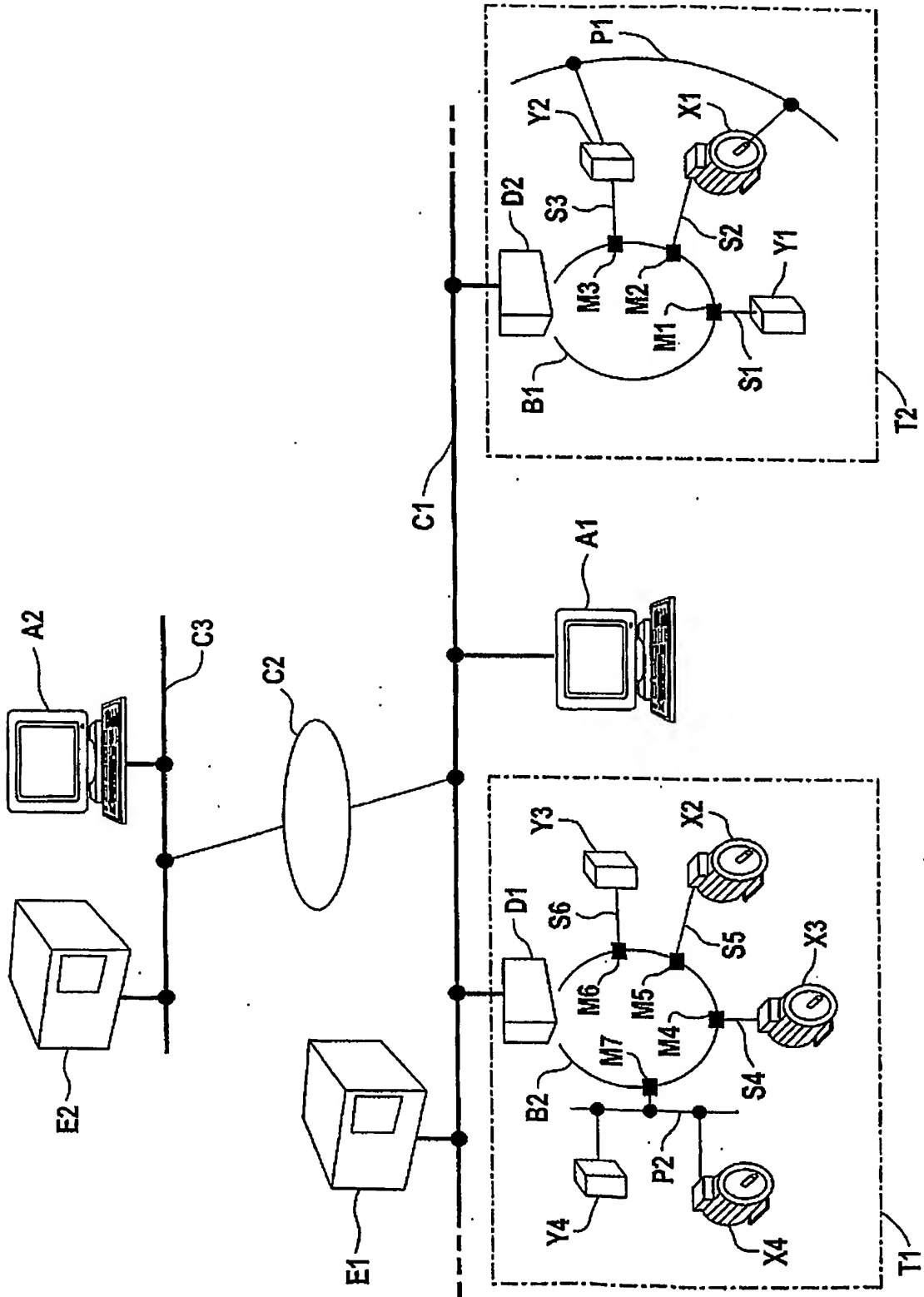


Fig. 2

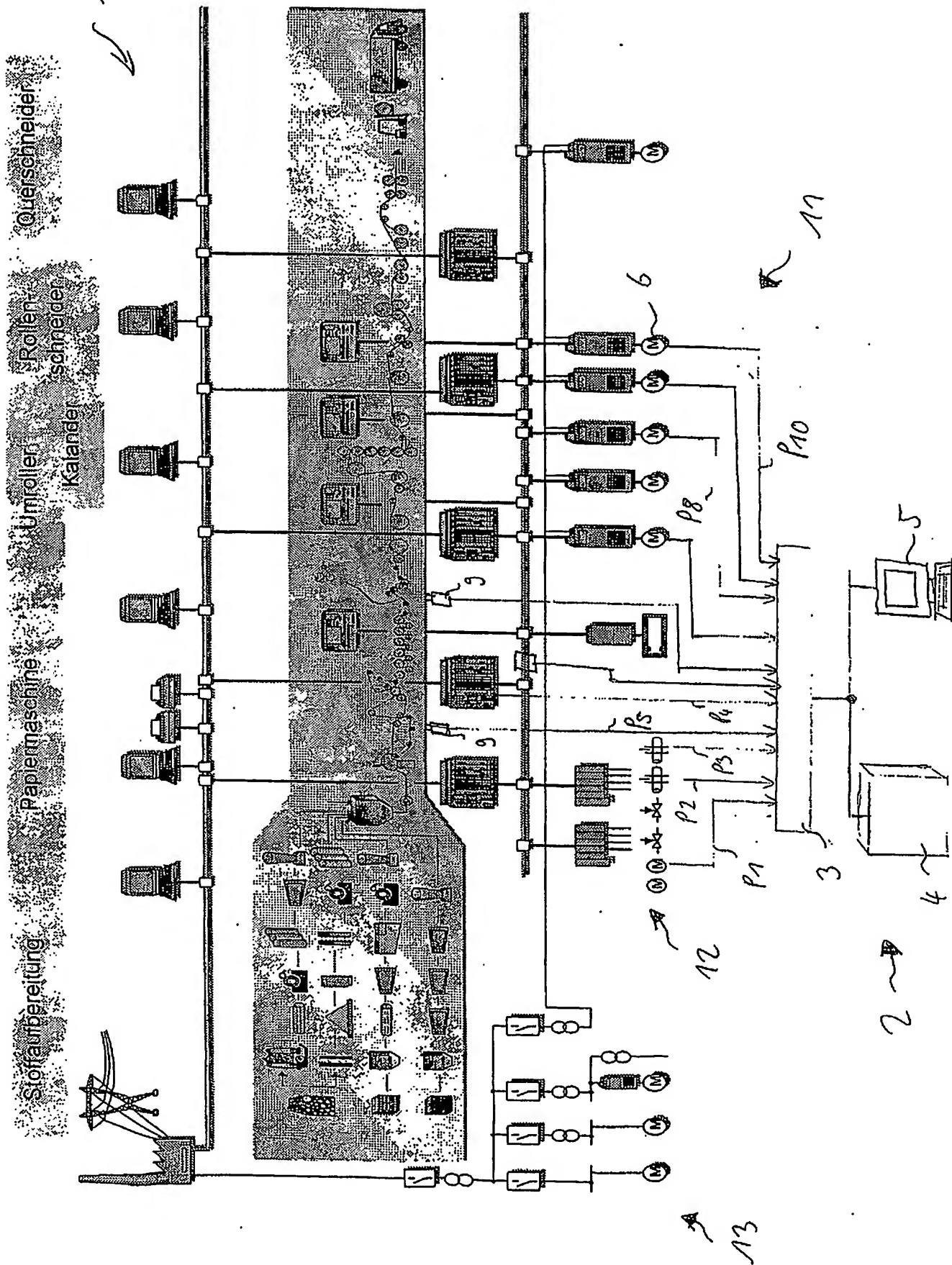


Fig 3

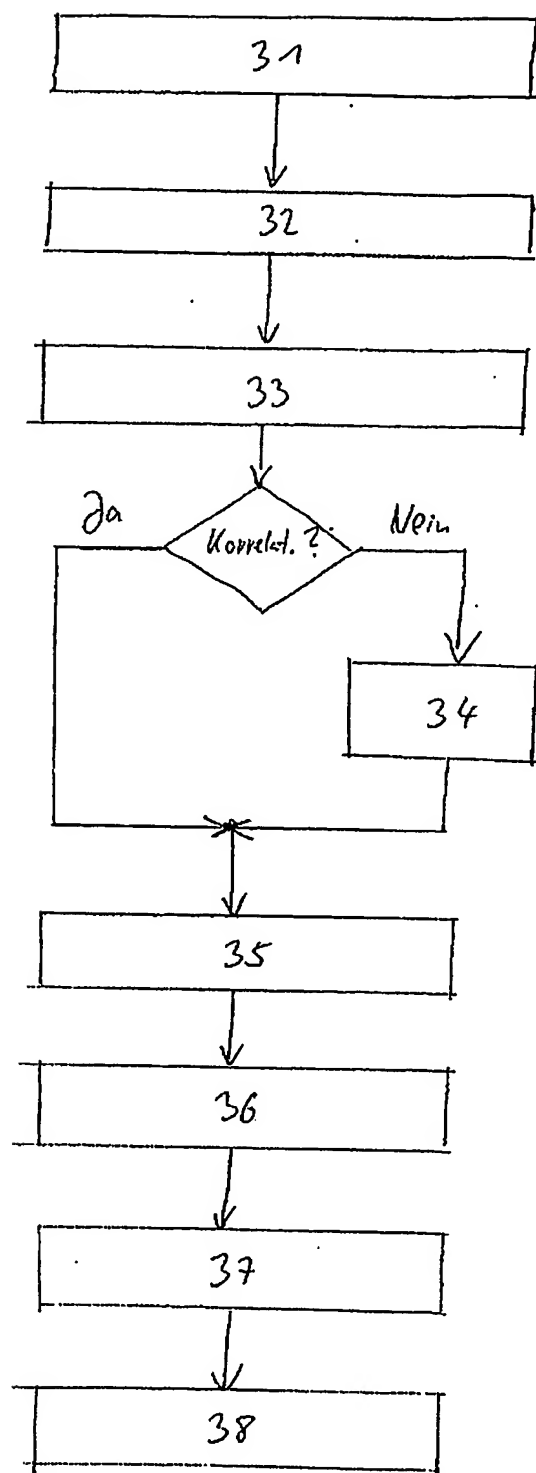


Fig. 4

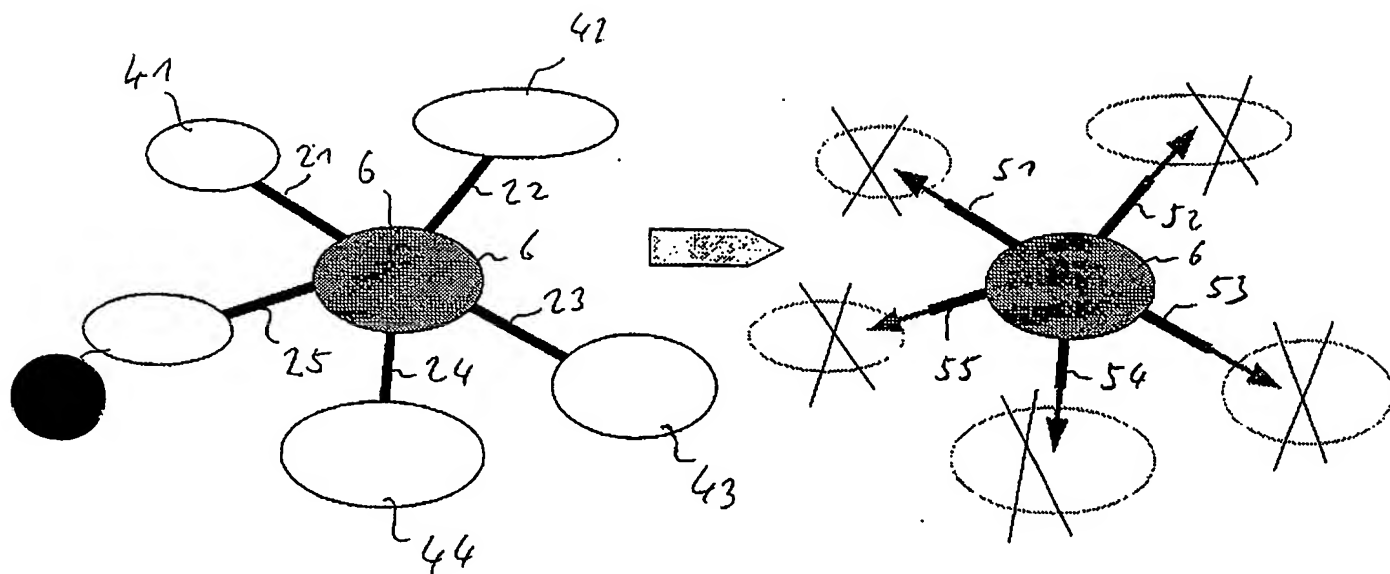
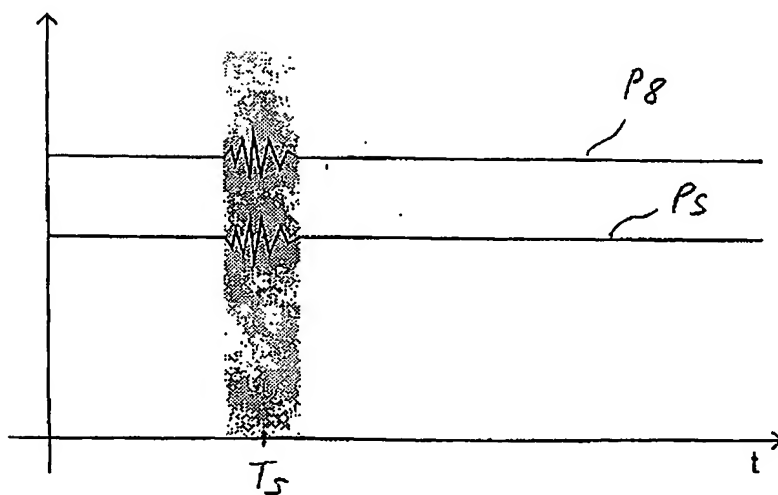


Fig. 5



2003 08356

5/5

Fig. 6

